МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ
MACHINE BUILDING AND MACHINE SCIENCE







УДК 673.7
https://doi.org/10.23947/2687-1653-2023-23-1-55-65

Научная статья



Устойчивость полиэтилена к нефти и сопутствующей воде

И.Р. Антибас
Донской государственный технический университет, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1
✉ Imad.antypas@mail.ru

Аннотация
Введение. Полиэтилен является наиболее широко применяемым материалом в различных областях народного хозяйства, а изделия из него обладают существенными достоинствами, такими как лёгкость, нерастворимость в органических растворах при вполне удовлетворительной прочности. Однако механизм его разрушения достаточно сложен и зависит от условий работы и контактирующих с ним веществ. Цель исследований заключалась в изучении устойчивости полиэтилена к нефти и сопутствующей воде при статическом и динамическом режиме и комнатной температуре.

Материалы и методы. Исследования проводились на лабораторном устройстве для пропускания различных жидкостей (нефть, сопутствующая и дистиллированная вода) в полиэтиленовых трубах, собранном авторами статьи. При работе были применены методы статистической и динамической обработки данных.

Результаты исследования. Графики изменения веса и объёма погруженных гранул во времени, построенные по результатам проведенных экспериментов, показали, что для полиэтилена характерна квадратичная зависимость и диффузия для трех исследуемых в данной работе жидкостей (дистиллированная вода, сопутствующая вода и нефть) описывается законом Фика. Это указывает на тот факт, что скорость диффузии жидкости через полиэтилен является наиболее важным фактором.

Обсуждение и заключения. Эксперименты и полученные результаты показали, что скорость диффузии жидкости через полиэтилен является наиболее важным фактором. Погружение в нефть оказывает большее влияние, чем погружение в сопутствующую или дистиллированную воду из-за присутствия солей. Было обнаружено, что относительное изменение веса и толщины стенок полиэтиленовых труб, по которым проходит нефть, больше тех, по которым проходит сопутствующая вода, а микроскопические изображения срезов в образцах до и после испытаний подтвердили полученные результаты.

Ключевые слова: полиэтилен, сопутствующая вода, твердые материалы, соли, дистиллированная вода.

Благодарности. Автор выражает признательность рецензентам и редакции журнала за ценные замечания.

Для цитирования. Антибас И.Р. Использование метода конечных элементов для моделирования резервуара высокого давления из полимера, армированного углеродным волокном. *Advanced Engineering Research (Rostov-on-Don).* 2023;23(1):55–65. https://doi.org/10.23947/2687-1653-2023-23-1-55-65

Original article

Polyethylene Resistance to Oil and Associated Water

Imad Rizakalla Antipas
Don State Technical University, 1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, Russian Federation
✉ Imad.antypas@mail.ru

Abstract
Introduction. Polyethylene is the most widely used material in various fields of the national economy, and products made of it have essential advantages, such as lightness, insolubility in organic solutions with quite satisfactory strength. However, the mechanism of its destruction is quite complex and depends on the working conditions and substances, which are in contact with it. The research purpose was to study the polyethylene resistance to oil and associated water under the static and dynamic conditions and at room temperature.
Methods and Materials. The research was carried out on a laboratory device for passing various liquids (oil, associated and distilled water) in polyethylene pipes, assembled by the author of the article. While working, methods of statistical and dynamic data processing were applied.
Results. Based on the results of previous experiments, graphs were plotted for the change in the weight and volume of immersed granules over time. They have shown that polyethylene has a quadratic dependence, and diffusion for the three liquids studied in this work (distilled water, accompanying water and oil) is described by Fick's law. This indicates the fact that the rate of liquid diffusion through polyethylene is the key factor.
Discussion and Conclusions. The obtained results have shown that the rate of liquid diffusion through polyethylene is the key factor. Immersion in oil has a greater impact than immersion in associated or distilled water due to the presence of salts. It has been found out that the relative change in the weight and thickness of the polyethylene pipe walls through which oil passes is greater than those through which the associated water passes. Moreover, the microscopic cross sections images in the samples before and after the tests have confirmed the obtained results.

Keywords: Polyethylene, associated water, solid materials, salts, distilled water.

Acknowledgements. The author would like to thank the reviewers and the editorial board of the journal for valuable comments.

For citation. Antypas IR. Polyethylene Resistance to Oil and Associated Water. *Advanced Engineering Research (Rostov-on-Don).* 2023;23(1):55–65. https://doi.org/10.23947/2687-1653-2023-23-1-55-65

Введение. Полиэтилен является одним из основных элементов семейства олефинов, который обычно характеризуется воскообразным внешним видом, химической инертностью и ухудшением физических свойств при высоких температурах.

Поскольку полиэтилен является частично кристаллизованным материалом и не вступает в побочные химические реакции с какими-либо жидкостями, он не имеет растворителей при температуре окружающей среды и водопоглощение сравнительно невелико.

Полиэтилен не растворяется в органических растворах, но он расширяется при температуре более 70 °C и может растворяться в гранулированных ароматических углеводородах, не подвержен влиянию нефти, жиров, керосина и других углеводородов, полученных из нефти. Он также устойчив к водным растворам кислот, солей и щелочей [1–5].

Полиэтилен окисляется азотной кислотой, что приводит к ухудшению характеристик, получаемых из него продуктов. Окисление происходит под воздействием ультрафиолетовых лучей при температуре окружающей среды, вызывая хрупкость и ухудшение механических и теплоизоляционных свойств [6–8]. Научный интерес представляет изучение взаимодействия полиэтилена с нефтью. Она представляет собой смесь углеводородов и неметаллических элементов, смешанных с ними (сера, азот, кислород), а также некоторых металлических элементов (железо, никель, мышьяк, ванадий). Наряду с ними в нефти присутствуют соли хлоридов земельных минералов, а также их сульфаты. Кроме того, нефть содержит воду в определённых процентных соотношениях, зависящих от ее типа и условий добычи. Этот процент может возрастать до 30 % по отношению к общему объёму нефти, поскольку она находится в форме насыщенных растворов хлорида натрия, сульфата магния и кальция. Двуокись углерода и газы сероводорода, растворяясь в воде, увеличивают её объём. Кислота и кислород, вступая в реакцию с железом и марганцем, растворенными в сопутствующей воде, образуют нерастворимые продукты. Сопутствующая вода содержит небольшой процент хлоридорганических солей, не превышающий 50 частей из миллиона [9, 10].

Примеси, содержащиеся в сырой нефти (твердые материалы, соли, вода, химические добавки), создают серьезные риски для нефтеперерабатывающего оборудования, продолжительности его работы и эффективности. Известно, что полимерные материалы разрушаются совершенно иначе, нежели металлические, поэтому при производстве из них различных изделий требуется учитывать их физико-химические свойства и электрохимические реакции.

Пластики не растворяются, как металлы, однако повреждаются или разрушаются вследствие набухания, то есть происходит так называемое охрупчивание, при котором они размягчаются, затвердевают и меняют цвет, что приводит к ухудшению их механических свойств.

Полимерные материалы разрушаются по нескольким механизмам:

– набухание структуры;

– растворение;

– разрушение химических связей под воздействием тепла, химических реакций или реакции свободных радикалов. Охрупчивание поверхностного слоя может происходить по какому-либо одному механизму или по комбинации механизмов [11–13].

Растворение и набухание без разрыва химических связей является основной причиной охрупчивания при контакте с примесями. Этот процесс является сложным, поскольку небольшие количества полимерного раствора проникают внутрь [14], образуя просачивающийся слой с измененными физическими свойствами (рис. 1).

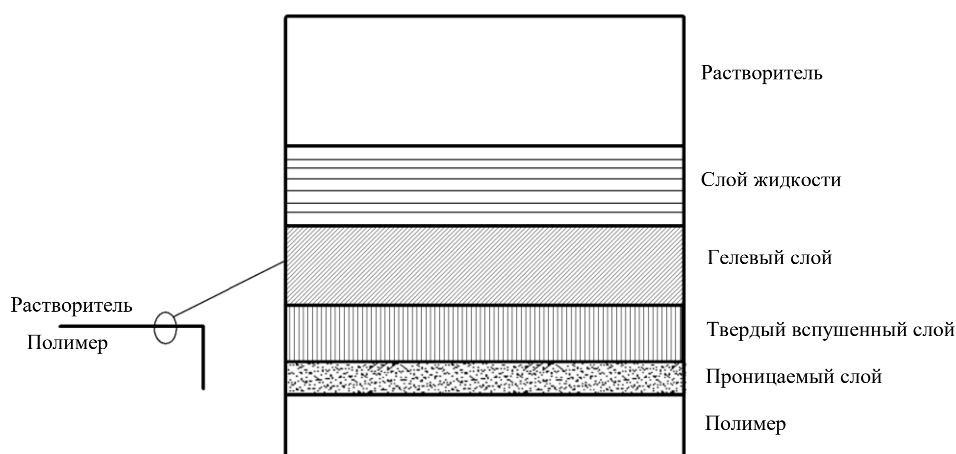


Рис. 1. Слоистая структура процесса охрупчивания

Целью исследования является изучение устойчивости полиэтилена к нефти и сопутствующей воде при комнатной температуре, как в состоянии покоя, так и в условиях движения.

Материалы и методы. В таблице 1 показаны использованные в работе вещества, растворенные в нефти после её добычи.

Таблица 1

Вещества, растворенные и взвешенные в нефти после её добычи

Растворимые вещества			Взвешенные вещества	
Твердые		Газообразные	Металлические материалы	Органические материалы
Положительные электролиты: Mg^+, Fe^+, K^+, Na^+, Mn^+ Отрицательные электролиты: Br^-, Cl^-, F^-, CO_3^{-2}, SO_4^{-2},HCO_3^-	Растительные и животные	O_2, H_2S, N_2,CO_2	$Fe(OH)_3$, FeS_2, SCO_2 песок с глиняной крошкой, сульфатными соединениями, карбонатами, щелочно-земельными минералами	Соединения, полученные в результате добавления деэмульгаторов, бактерий, водных растений, а также растительных и животных остатков

В таблице 2 показан состав сопутствующей воды, использованной в экспериментах.

Таблица 2

Состав сопутствующей воды, использованной в экспериментах

Анализ	Измеренное значение	Единицы измерения
Плотность	1,015	г/см^3
Cl^-	10100	ppm
Na^+	2427	
Mg^+,	370	
Ca^{2+}	1270	
Полная жестокость $CaCO_3$	4243	
Щелочность $(CaCo_3)$	530	
SO_4^{-2}	1093	
NO_3^-	100	
NH_4^-	13	
H_2S	130	
pH	8,5	

В качестве чистящего средства применялся нефтяной спирт. Опыты проводили с использованием гранул и труб из полиэтилена высокого давления HDPE низкой плотности (таблица 3).

Таблица 3

Технические характеристики полиэтиленовых гранул и труб, использованных в экспериментах

Тип	Гранулы	Трубы
	Полиэтилен высокого давления низкой плотности	
Плотность, г/см^3	0,914	0,917
Твердость (по Шору)	44,6	46,7
Отношение удлинения к срезу, %	нет	4,42
Минимальная температура наступления размягчения, C°	109–122	110–112

Нефть и сопутствующая вода проходили по полиэтиленовым трубам в собранном автором лабораторном устройстве (рис. 2). Комплекс оборудования включает герметичную стеклянную тару; шкалу с чувствительностью ±0,1 г, %; электронный микрометр с точностью до 1 микрометра; электронный микроскоп, подключенный к компьютеру.

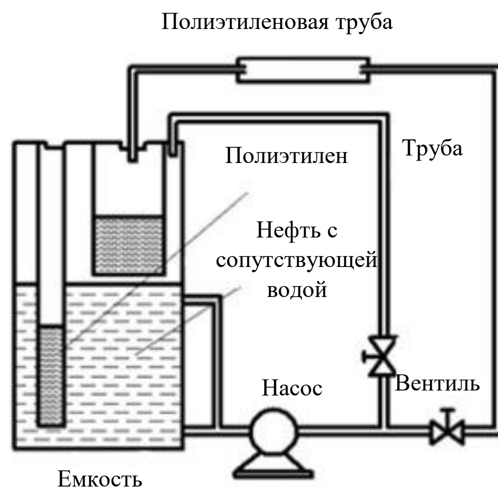


Рис. 2. Лабораторное устройство для пропускания нефти и сопутствующей воды в полиэтиленовых трубах

В спокойном режиме при методе погружения последовательность действий при постановке эксперимента была следующей:

– масса W_1 и объем V_1 определяли для нескольких образцов гранул полиэтилена, характеристики которых приведены в таблице 3;

– образцы погружали полностью в нефть, попутную и дистиллированную воду в герметичных контейнерах на определенные периоды времени;

– далее образцы очищали;

– в процессе эксперимента определяли вес образца W_2 и его объем V_2;

– далее рассчитывали изменение веса $\Delta W = W_2 – W_1$ и изменение объема $\Delta V = V_2 – V_1$,

– после тестирования каждого образца рассчитывали: относительное изменение веса $\frac{\Delta W}{W_1} \cdot 100$ и относительное изменение объема $\frac{\Delta V}{V_1} \cdot 100$.

В динамическом режиме последовательность действия при постановке эксперимента была следующей:

– нефть и сопутствующая вода протекали в полиэтиленовых трубах с постоянной скоростью при комнатной температуре, их вес W_1 и толщина стенки определялись для конкретных периодов времени;

– после каждого опыта трубы очищали;

– после испытания определяли их вес W_2 и толщину стенок после испытания X_2;

– рассчитывали: изменение веса $\Delta W = W_2 – W_1$, изменение объема $\Delta V = V_2 – V_1$, относительное изменение веса $\frac{\Delta W}{W_1} \cdot 100$ и изменение толщины ΔX после испытания.

Результаты исследования. Результаты испытаний изменения массы и объема частиц, погруженных в нефть, сопутствующую и дистиллированную воду, были сведены в таблицы 4–9. Графическая зависимость была найдена для относительного изменения веса и размера полиэтиленовых гранул, погруженных в нефть, сопутствующую и дистиллированную воду (рис. 3, 4).

Таблица 4

Изменение веса погруженных в нефть гранул

№	1			2			3		
Время погружения, дни	W_1, г	W_2, г	ΔW, %	W_1, г	W_2, г	ΔW, %	W_1, г	W_2, г	ΔW, %
10	27,022	27,673	2,240	26,9611	27,5542	2,200	25,384	25,921	2,261
30	26,652	28,6376	7,450	26,4489	28,4589	7,600	26,577	28,613	7,661
60	25,839	28,2497	9,330	23,486	25,7346	9,574	25,266	25,266	9,396
90	26,863	29,6979	10,55	27,3432	30,1732	10,350	25,683	25,683	10,28

Таблица 5

Изменение объема погруженных в нефть гранул

№	1			2			3		
Время погружения, дни	V_1, см^3	V_2, см^3	ΔV, %	V_1, см^3	V_2, см^3	ΔV, %	V_1, см^3	V_2, см^3	ΔV, %
10	50	51,0	2,0	50	51,0	2,0	50	51,0	2,0
30	50	52,1	4,2	50	52,4	4,8	50	52,3	4,6
60	50	53,0	6,0	50	53,0	6,0	50	53,0	6,0
90	50	53,7	7,4	50	53,7	7,4	50	53,9	7,8

Таблица 6

Изменение веса гранул, погруженных в сопутствующую воду

№	1			2			3		
Время погружения, дни	W_1, г	W_2, г	Δ*W*, %	W_1, г	W_2, г	Δ*W*, %	W_1, г	W_2, г	Δ*W*,%
10	55,045	55,430	0,700	58,765	58,765	0,70	28,514	28,69	0,63
30	55,333	55,948	1,110	26,400	26,400	1,10	26,962	27,25	1,07
60	45,831	55,629	1,450	27,332	27,332	1,60	26,614	26,99	1,44
90	26,226	26,645	1,595	27,085	27,085	1,65	26,843	27,25	1,53

Таблица 7

Изменение объема частиц, погруженных в сопутствующую воду

№	1			2			3		
Время погружения, дни	V_1, $см^3$	V_2, $см^3$	Δ*V*, %	V_1, $см^3$	V_2, $см^3$	Δ*V*, %	V_1, $см^3$	V_2, $см^3$	Δ*V*, %
10	50	50	0	50	50	0	50	50	0
30	50	50,5	1	50	50,5	1	50	50,5	1
60	50	51	2	50	51	2	50	51	2
90	50	51,52	2,5	50	51,1	2,2	50	51,1	2,2

Таблица 8

Изменение веса гранул, погруженных в дистиллированную воду

№	1			2			3		
Время погружения, дни	W_1, г	W_2, г	Δ*W*, %	W_1, г	W_2, г	Δ*W*, %	W_1, г	W_2, г	Δ*W*,%
10	56,003	56,003	0,000	26,761	26,762	0,00	26,723	26,723	0,00
30	54,40	54,40	0,000	27,058	27,058	0,12	26,599	26,599	0,00
60	55,48	55,489	0,000	26,303	26,303	0,00	26,084	26,084	0,0
90	55,37	55,37	0,000	26,8300	26,8300	0,000	27,1665	27,1665	0,000

Таблица 9

Изменение объема гранул, погруженных в дистиллированную воду

№	1			2			3		
Время погружения, дни	V_1, $см^3$	V_2, $см^3$	Δ*V*, %	V_1, $см^3$	V_2, $см^3$	Δ*V*, %	V_1, $см^3$	V_2, $см^3$	Δ*V*, %
10	50	50	0	50	50	0	50	50	0
30	50	50,1	0,2	50	50,1	0,2	50	50,1	0,2
60	50	50	0	50	50	0	50	50	0
90	50	50	0	50	50	0	50	50	0

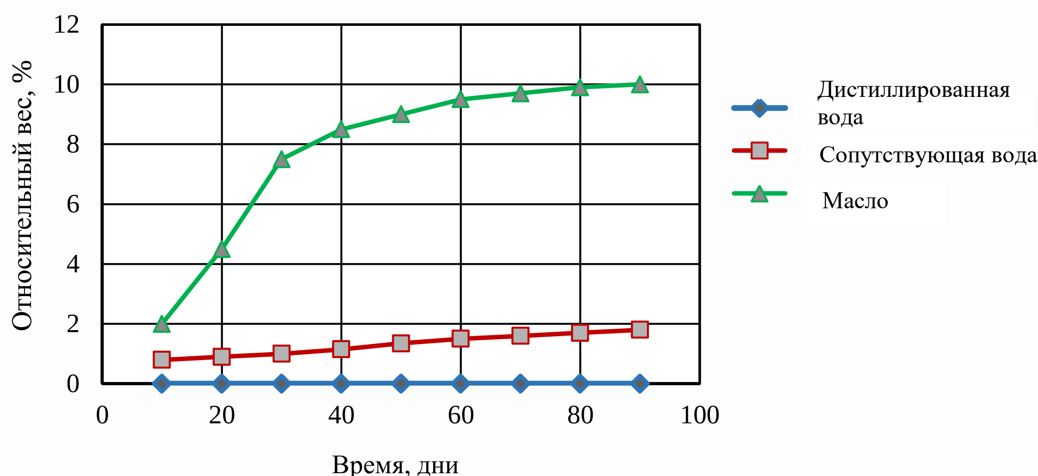


Рис. 3. Относительное изменение веса погруженных гранул по времени

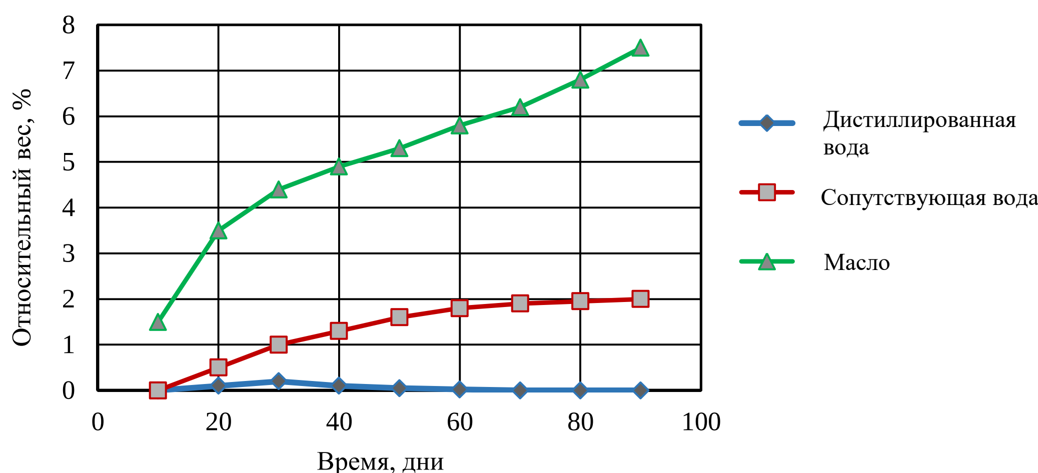


Рис. 4. Относительное изменение объема погруженных

Рис. 3 и 4 показывают, что временная зависимость относительного изменения веса и размера гранул полиэтилена имеет характер квадратичной зависимости и следует закону Фика в диффузии в случаях трех исследуемых жидкостей (дистиллированная вода, сопутствующая вода и нефть), что указывает на то, что скорость диффузии жидкости через полиэтилен является наиболее важным фактором.

Относительное изменение веса гранул, погруженных в дистиллированную воду, не упоминается, но оно едва заметно в сопутствующей воде и больше увеличивается в нефти (рис. 4). Это объясняется тем, что диффузия солей оказывает существенное влияние на относительный вес и объем гранул, погруженных в дистиллированную воду, с одной стороны, и гранул, погруженных в нефть и сопутствующую воду, с другой.

Результаты испытаний изменения веса и толщины труб, в которых течет нефть и сопутствующая вода, систематизированы в таблицах 10 и 11. Была получена графическая зависимость относительного изменения веса и толщины труб, по которым проходит нефть с сопутствующим потоком воды, показанная на рис. 5, 6.

Микрофотографии срезов образцов были сделаны до и после испытаний с увеличением в 510 раз, показаны на рис. 7.

Таблица 10

Изменение веса и толщины труб, по которым течет нефть

Время погружения, дни			30		60		90	
№ трубы	W_1, г	X_1, мм	*W*, %	Δ*X*	Δ*W*, %	Δ*X*	*W*, %	Δ*X*
1	18,019	2,483	0,6	0,024	1,07	0,05	3,02	0,17
2	18,6440	2,485	0,9	0,032	1,12	0,07	3,01	0,19
3	18,6009	2,490	0,58	0,022	1,14	0,07	3,12	0,21
4	18,6441	2,483	0,91	0,032	1,12	0,096	3,00	0,19
5	18,5999	2,487	0,37	0,022	1,13	0,08	3,11	0,22

Таблица 11

Изменение веса и толщины труб, по которым течет сопутствующая вода

Время погружения, дней			30		60		90	
№ трубы	W_1,г	X_1, мм	*W, %*	Δ*X*	*W, %*	Δ*X*	*W, %*	Δ*X*
1	15,22	2,483	0,399	0,012	0,521	0,025	1,35	0,087
2	19,134	2,484	0,404	0,015	0,478	0,029	1,42	0,086
3	15,905	2,483	0,409	0,011	0,459	0,028	1,38	0,075
4	18,6009	2,400	0,39	0,013	0,469	0,027	1,40	0,080
5	18,019	2,483	0,38	0,012	0,498	0,027	1,39	0,079

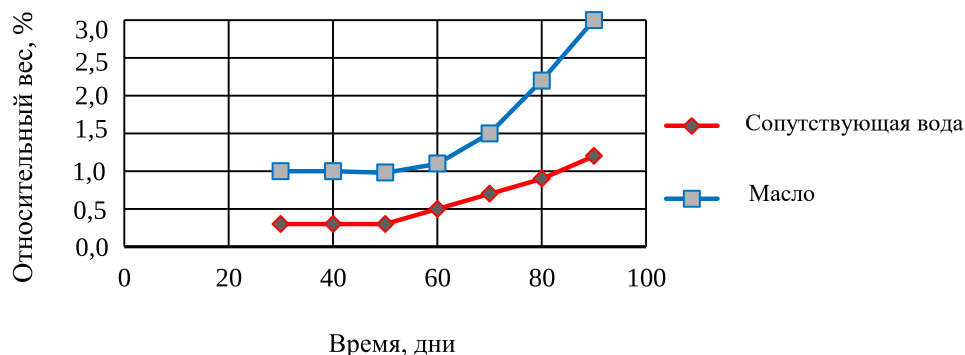


Рис. 5. Относительное изменение веса труб, по которым течет нефть и сопутствующая вода, по времени

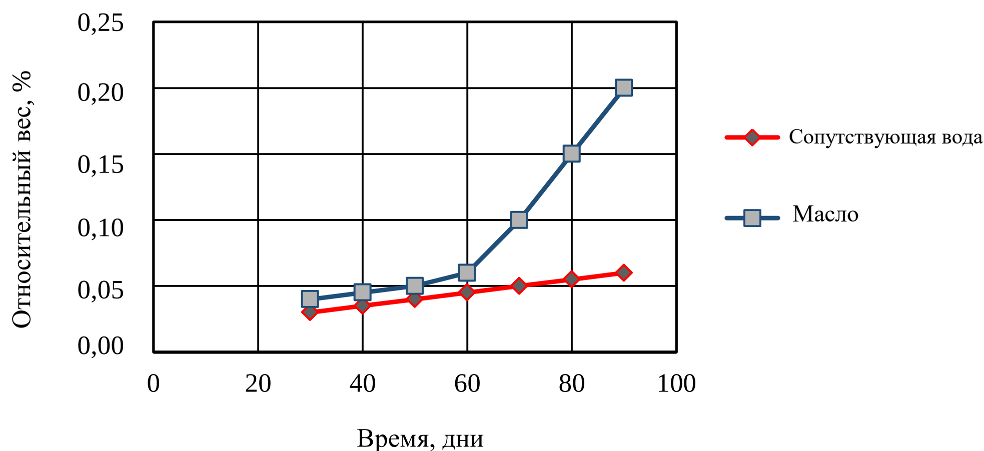


Рис. 6. Относительное изменение толщины труб, в которых течет нефть и сопутствующая вода, в зависимости от времени

Рис. 6 и 7 показывают, что относительное изменение веса и толщины стенок полиэтиленовых труб, по которым проходит нефть, больше тех, через которые проходит сопутствующая вода. Этот факт указывает на то, что полиэтилен больше подвержен влиянию нефти.

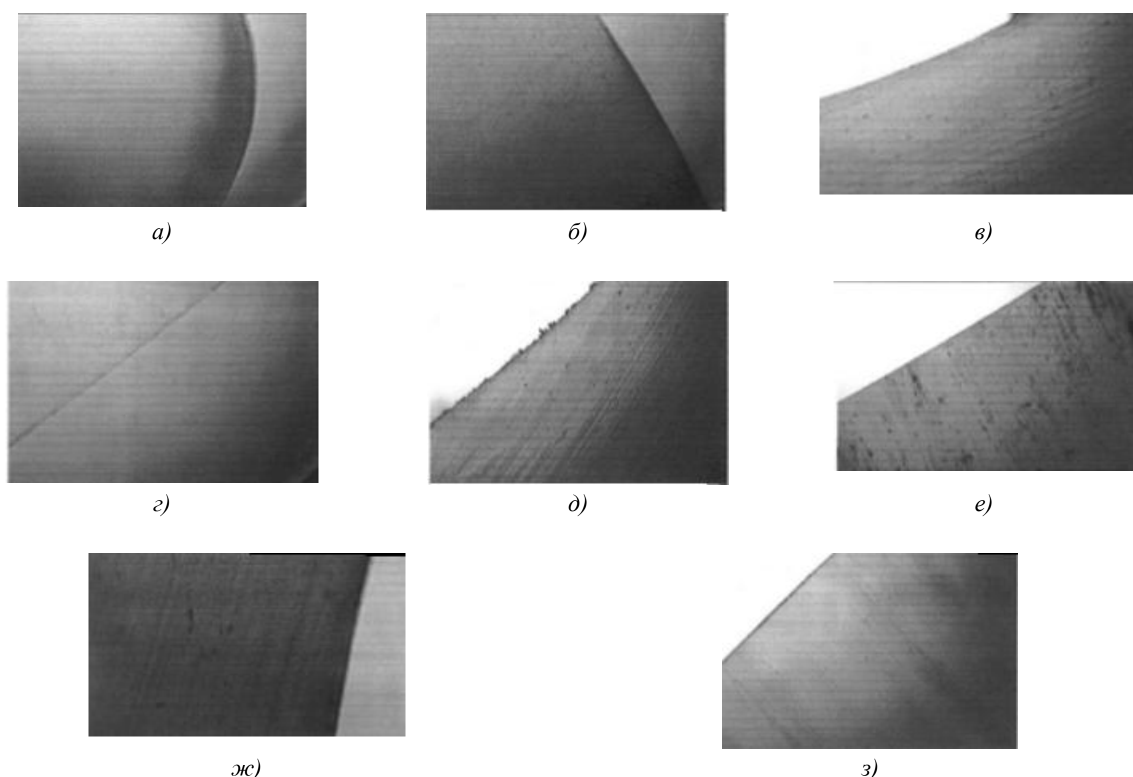


Рис. 7. Микрофотографии срезов образцов до и после испытаний с увеличением в 510 раз: *а* — сечение чистой гранулы; *б* — сечение гранулы нефти; *в* — сечение трубы с сопутствующей водой в нефти; *г* — сечение чистой воды; *д* — сечение трубы, погруженной в нефть; *е* — внутренняя поверхность трубы с сопутствующей водой; *ж* — сечение трубы, погруженной в нефть после 200 часов; *з* — внутренняя поверхность трубы, погруженной в нефть

На рис. 7 показаны срезы образцов труб и гранул до и после испытаний, отражающие цвет и гладкость поверхности срезов, подвергнутых испытаниям, по сравнению с чистыми срезами, что подтверждает предыдущие результаты, полученные на основе графиков.

Обсуждение и заключения. Эксперименты и полученные результаты показали, что скорость диффузии жидкости через полиэтилен является наиболее важным фактором при статическом и динамическом режимах. Погружение в нефть оказывает большее влияние, чем погружение в сопутствующую или дистиллированную воду из-за присутствия солей.

Было обнаружено, что относительное изменение веса и толщины стенок полиэтиленовых труб, по которым проходит сопутствующая вода меньше, чем тех, по которым проходит нефть, а микроскопические изображения срезов в образцах до и после испытаний подтвердили полученные результаты.

Список литературы

1. Antypas I. The Influence of Polyethylene Processing on the Plastic Containers Blowing. *Journal of Physics: Conference Series.* 2020;1515:042042. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1515/4/042042

2. Zakharyan E.M., Petrukhina N.N., Dzhabarov E.G., et al. Pathways of Chemical Recycling of Polyvinyl Chloride. Part 2. *Russian Journal of Applied Chemistry.* 2020;93:1445–1490. http://dx.doi.org/10.1134/S1070427220100018

3. Chinedu Nwapa, Okunwaye O.J., Okonkwo C.L., et al. Mechanical Properties of High Density Polyethylene and Linear Low Density Polyethylene Blend. *SSRG International Journal of Polymer and Textile Engineering (SSRG-IJPTE).* 2020;7:22–28. 10.14445/23942592/IJPTE-V7I1P103

4. Antypas I.R. Improvement of Mechanical Behavior of Neoprene Rubber by means of Glass Fiber. *Journal of Physics: Conference Series.* 2021;1889:042007. http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1889/4/042007

5. Wei-Li Wu, Yi-Wen Wang. High Density Polyethylene Film Toughened with Polypropylene and Linear Low Density Polyethylene. *Materials Letters.* 2019;257:126689. http://doi.org/10.1016/j.matlet.2019.126689

6. Chaudhary A.K., Vijayakumar R.P. Effect of Chemical Treatment on Biological Degradation of High-Density Polyethylene (HDPE). *Environment, Development and Sustainability.* 2020;22:1093–1104. https://doi.org/10.1007/s10668-018-0236-6

7. Lethola M., Miettinen I.T., Lampola T., et al. Pipeline Materials Modify the Effectiveness of Disinfectants in Drinking Water Distribution Systems. *Water Research.* 2005;39:1962–1971. http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2005.03.009

8. Antypas I.R., Savostina T.P. Study of Mechanical Properties of Recycled Polyethylene of High and Low Density. *Materiale Plastice.* 2021;58:210-215. https://doi.org/10.37358/MP.21.4.5546

9. Zabolotnyi O., Zabolotnyi V., Koshevoy N. Oil Products Moisture Measurement Using Adaptive Capacitive Instrument Measuring Transducers. In book: Nechyporuk M, Pavlikov V, Kritskiy D. (eds.) *Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering.* 2021;188:81–91. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-66717-7_7

10. Beglyarovas É.S., Sokolova A., Bakshtanin M. Change of Indicators of Pollution of Surface Drain of Urban Territories when Carrying Out Construction Work on the Example of the Private Reservoirs of Rivers Likhoborka and Zhabenka. *Power Technology and Engineering.* 2021;55:1–5. http://dx.doi.org/10.1007/s10749-021-01316-0

11. Martins L.S., Mulinari D., Zanini N.C. Envelopes with Microplastics Generated from Recycled Plastic Bags for Crude Oil Sorption. *Polymer Engineering and Science.* 2021;61:2055–2065. http://dx.doi.org/10.1002/pen.25734

12. Ketan Patel, Samir H Chikali, Swaminathan Sivaram. Ultrahigh Molecular Weight Polyethylene: Catalysis, Structure, Properties, Processing and Applications. *Progress in Polymer Science.* 2021;109:101290. https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2020.101290

13. Lethola M., Miettinen L.T., Lampola T., et al. Pipeline Materials Modify the Effectiveness of Disinfectants in Drinking Water Distribution Systems. *Water Research.* 2005;39:1962–1971. http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2005.03.009

14. Reye J.T., Moore E.J., Riga A.T. *Dissolution and Swelling Characterization of Diverse Amorphous Polymers by Thermal Mechanical Analysis.* In: Proc. Annual Conference of the North American Thermal Analysis Society (NATAS), 2005. P. 1–22. URL: https://www.researchgate.net/publication/343759376_Dissolution_and_-Swelling_Characterization_of_Diverse_Amorphous_Polymers_by_Thermal_Mechanical_Analysis

References

1. Antypas I. The Influence of Polyethylene Processing on the Plastic Containers Blowing. *Journal of Physics: Conference Series*. 2020;1515:042042. 10.1088/1742-6596/1515/4/042042

2. Zakharyan EM, Petrukhina NN, Dzhabarov EG, et al. Pathways of Chemical Recycling of Polyvinyl Chloride. Part 2. *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2020;93:1445-1490. 10.1134/S1070427220100018

3. Chinedu Nwapa, Okunwaye OJ, Okonkwo CL, et al. Mechanical Properties of High Density Polyethylene and Linear Low Density Polyethylene Blend. *SSRG International Journal of Polymer and Textile Engineering (SSRG-IJPTE)*. 2020;7:22-28. 10.14445/23942592/IJPTE-V7I1P103

4. Antypas IR. Improvement of Mechanical Behavior of Neoprene Rubber by means of Glass Fiber. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021;1889:042007. http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1889/4/042007

5. Wei-Li Wu, Yi-Wen Wang. High Density Polyethylene Film Toughened with Polypropylene and Linear Low Density Polyethylene. *Materials Letters*. 2019;257:126689. http://doi.org/10.1016/j.matlet.2019.126689

6. Chaudhary AK, Vijayakumar RP. Effect of Chemical Treatment on Biological Degradation of High-Density Polyethylene (HDPE). *Environment, Development and Sustainability*. 2020;22:1093–1104. https://doi.org/10.1007/s10668-018-0236-6

7. Lethola M, Miettinen IT, Lampola T, et al. Pipeline Materials Modify the Effectiveness of Disinfectants in Drinking Water Distribution Systems. *Water Research*. 2005;39:1962–1971. http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2005.03.009

8. Antypas IR, Savostina TP. Study of Mechanical Properties of Recycled Polyethylene of High and Low Density. *Materiale Plastice*. 2021;58:210-215. https://doi.org/10.37358/MP.21.4.5546

9. Zabolotnyi O, Zabolotnyi V, Koshevoy N. Oil Products Moisture Measurement Using Adaptive Capacitive Instrument Measuring Transducers. In book: Nechyporuk M, Pavlikov V, Kritskiy D. (eds.) *Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering*. 2021;188:81-91. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-66717-7_7

10. Beglyarovas ÉS, Sokolova A, Bakshtanin M. Change of Indicators of Pollution of Surface Drain of Urban Territories when Carrying Out Construction Work on the Example of the Private Reservoirs of Rivers Likhoborka and Zhabenka. *Power Technology and Engineering*. 2021;55:1-5. http://dx.doi.org/10.1007/s10749-021-01316-0

11. Martins LS, Mulinari D, Zanini NC. Envelopes with Microplastics Generated from Recycled Plastic Bags for Crude Oil Sorption. *Polymer Engineering and Science*. 2021;61:2055-2065. http://dx.doi.org/10.1002/pen.25734

12. Ketan Patel, Samir H Chikali, Swaminathan Sivaram. Ultrahigh Molecular Weight Polyethylene: Catalysis, Structure, Properties, Processing and Applications. *Progress in Polymer Science*. 2021;109:101290. https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2020.101290

13. Lethola M, Miettinen LT, Lampola T, et al. Pipeline Materials Modify the Effectiveness of Disinfectants in Drinking Water Distribution Systems. *Water Research*. 2005;39:1962–1971. http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2005.03.009

14. Reye JT, Moore EJ, Riga AT. *Dissolution and Swelling Characterization of Diverse Amorphous Polymers by Thermal Mechanical Analysis*. In: Proc. Annual Conference of the North American Thermal Analysis Society (NATAS), 2005. P. 1–22. https://www.researchgate.net/publication/343759376_Dissolution_and_Swelling_-Characterization_of_Diverse_Amorphous_Polymers_by_Thermal_Mechanical_Analysis

Об авторе:

Антибас Имад Ризакалла, доцент кафедры «Основы конструирования машин» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, доцент, ScopusID, ResearchID, ORCID, imad.antypas@mail.ru

Поступила в редакцию 01.02.2023.
Поступила после рецензирования 17.02.2023.
Принята к публикации 20.02.2023.

Конфликт интересов
Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

About the Author:

Imad Rizakalla Antipas, associate professor of the Fundamentals of Machinery Design Department, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), Cand.Sci. (Eng.), associate professor, ScopusID, ResearchID, ORCID, imad.antypas@mail.ru

Received 01.02.2023.
Revised 17.02.2023.
Accepted 20.02.2023.

Conflict of interest statement
The author does not have any conflict of interest.

The author has read and approved the final manuscript.